

УДК 629.783.03

МАЛЫЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ СТАНДАРТА CUBESAT. СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ВЫВЕДЕНИЯВ.Ю. Прокопьев¹, О.Н. Кусь², А.В. Оссовский²¹Новосибирский государственный университет²ООО «ОКБ Пятое Поколение»

E-mail: o.kus@5okb.ru, vprok1981@mail.ru

Прокопьев Виталий Юрьевич, научный сотрудник Новосибирского государственного университета. E-mail: vprok1981@mail.ru
Область научных интересов: космическое приборостроение, автоматизация космического эксперимента, разработка измерительного оборудования для наземных испытаний космических аппаратов, радиационно-стойкая элементная база.

Кусь Олег Николаевич, генеральный директор ООО «ОКБ Пятое Поколение». E-mail: o.kus@5okb.ru

Область научных интересов: космическое приборостроение, малые космические аппараты стандарта CubeSat, наземные системы управления малыми космическими аппаратами, проектирование и производство радиационно-стойкой элементной базы.

Оссовский Антон Владимирович, директор по развитию ООО «ОКБ Пятое Поколение».

E-mail: ossovskiy@5okb.ru
Область научных интересов: космическое приборостроение, малые космические аппараты стандарта CubeSat, наземные системы управления малыми космическими аппаратами, проектирование и производство радиационно-стойкой элементной базы.

Термином «CubeSat» обозначаются малые космические аппараты (МКА) – наноспутники определенного конструктива, созданного в университете Стэнфорда. Размер базового элемента конструкции спутника 10×10×10 см. Запуск производится при помощи Poly-PicoSatellite Orbital Deployer (P-POD). Стандарт допускает объединение двух и более стандартных кубов в составе одного спутника (обозначаются 2U, 3U и т. д.). Развитие современных высокотехнологичных отраслей позволило создавать малогабаритные космические аппараты при сравнительно небольших затратах времени и средств. При этом они способны решать серьезные научно-технические, исследовательские и промышленные задачи. Фактически происходит становление нового сегмента космической отрасли. Вместе с тем самая большая сложность на пути расширения применения малых космических аппаратов – проблема выведения на орбиту. Начиная с 2003 года аппараты CubeSat запускались группами в качестве попутного груза с ракетопносителями российского, американского и европейского производства и даже непосредственно с борта Международной космической станции. Тем не менее такие возможности появляются нечасто и стоят весьма дорого. В настоящее время остро востребованы средства выведения космических аппаратов с массами в диапазоне от 20 до 40 кг и CubeSat в конфигурациях 3U, 6U и реже 12U. В России программа создания малых космических аппаратов практически не развита из-за отсутствия доступных и быстрых способов запуска низкоорбитальных аппаратов. Для решения данной проблемы предлагается разработать универсальный адаптер и транспортно-пусковые контейнеры, устанавливаемые на стандартные отечественные разгонные блоки («Фрегат», «Бриз», «Волга»). Для конкретизации задачи предлагается остановиться на распространенном и понятном формате CubeSat. Адаптер должен предусматривать крепление нескольких штатных контейнеров-диспенсеров P-POD. Реализация такого проекта позволит упростить процедуру согласования запуска малых аппаратов стандарта CubeSat, что даст новый толчок к развитию отрасли и сделает ее более привлекательной для разработчиков.

Ключевые слова:

Малый космический аппарат, CubeSat, средства выведения, адаптер, разгонный блок.

Термином «CubeSat» обозначаются наноспутники (Nano-satellite), созданные согласно стандарту, введенному под руководством профессора Bob Twiggs (факультет аэронавтики и астронавтики, Стэнфорд) [1]. Спутники имеют размер 10×10×10 см и запускаются при помощи Poly-PicoSatellite Orbital Deployer (P-POD). Стандарт допускает объединение двух или трех стандартных кубов в составе одного спутника (обозначаются 2U и 3U и имеют размер 10×10×20 или 10×10×30 см соответственно).

Развитие микроэлектроники, вычислительной техники, технологий телекоммуникаций создало предпосылки к ускоренной разработке многочисленных проектов малых космических аппаратов (МКА) при сравнительно небольших затратах времени и средств. Появилась возможность создавать КА размерами около 10 см и массой в районе килограмма. На разработку и изготовление КА требовалось всего несколько месяцев и несколько тысяч долларов.

В силу столь привлекательных особенностей идея быстро завоевала популярность сперва у студентов и преподавателей технических университетов, а затем в работы были вовлечены и серьезные научно-исследовательские лаборатории, а также промышленные предприятия. Расширение фронта работ и объема привлеченного финансирования изменило сами возможности таких малых КА, сделав их инструментом для отработки перспективных технологий и предоставив условия для развития прикладных применений. В результате сегодня в работы в сфере маломассогабаритных КА вовлечены тысячи специалистов в различных областях космической техники, реализуются крупные проекты, на которые выделяется серьезное финансирование. Фактически происходит становление новой отрасли космической промышленности, которая уже сегодня может поставлять на рынок технические средства с качественно новыми возможностями.

Вместе с тем самой большой сложностью на пути расширения применения МКА была их доставка в космос. Вплоть до последнего времени единственной возможностью было попутное выведение МКА с основными полезными грузами при запуске ракетносителей (РН). Такие возможности появлялись нечасто и стоили весьма дорого. В результате изготовленные КА долгое время ожидали своей очереди на выведение в космос, что сдерживало развитие этого направления. Однако в последнее время ситуация стала меняться к лучшему [2]. Появилась надежда, что выведение МКА можно будет делать на регулярной основе, что будет способствовать ускорению реализации проектов миниатюрных КА.

На протяжении 2010–2012 гг. на пике интереса к пикоспутникам возникли новые программы, в рамках которых совершенствуются существующие и создаются новые CubeSat [3, 4]. Среди них:

- Международная программа QB50, осуществляемая под руководством Института фон Кармана и компании ISIS (Нидерланды, при участии КНР и России), в рамках которой в период 2013–2014 гг. планируется развернуть международную ОГ в составе 50 КА CubeSat для научных исследований нижних слоев термосферы;
- программа Colony I НРУ МО США, которая предусматривает запуск 12 CubeSat в ближайшие несколько лет;
- программа Colony II НРУ МО США, в рамках планируется запустить дополнительно от 20 до 50 CubeSat после завершения программы Colony I;
- программа Edison Demonstration of Smallsat Networks, в которой НАСА планирует запустить на РН Athena 2 в 2013 г. восемь КА CubeSat конфигурации 1.5U для начала испытаний системы межспутниковой связи с самыми широкими направлениями последующего применения;
- программа Airborne Launch Assist Space Access (ALASA) агентства DARPA, кроме создания средства выведения воздушного базирования, предполагает выведение не менее 36 КА CubeSat начиная с 2015 г.;
- ряд развертывающихся с 2012 г. новых программ в МО США, в том числе программа INXS «Серии инновационных экспериментов на нано-КА» (Innovative NanoSat Experimental Series (INXS)) и программа DARPA «SeeMe».

МО США, впервые после 50-летнего перерыва, финансирует три космических инициативы Армии в области передовых нанотехнологий: разведывательный МКА Kestrel Eye, наноспутник SNAP для связи вне зоны прямой видимости и мобильная система оперативного запуска SWORDS (Soldier-Warfighter Operationally Responsive Deployer for Space) [5].

Понятно, что небольшие габариты и масса CubeSat, стандартизация их конструктивного исполнения, с одной стороны, способствуют резкому удешевлению, упрощают разработки новых моделей МКА, а с другой – ограничивают уровень их функциональных возможностей по сравнению с традиционными КА. Для увеличения их возможностей применяются стандартные структуры, объединяющие два или три CubeSat. Однако такое решение не дает заметного эф-

фекта. Поэтому в последнее время прилагаются целенаправленные усилия по расширению возможностей наноспутников, в том числе по заданиям потенциальных заказчиков. В этот процесс помимо университетов включились правительственные ведомства. По мнению ряда специалистов, самые совершенные и технологии, и системы МКА создаются сегодня в рамках государственных и военных программ. И это обусловлено тем, что заказчики стремятся получить от МКА тот же функционал, что и от больших КА [1].

Тем не менее, несмотря на динамичное совершенствование характеристик пико- и нано-КА, эти аппараты пока не могут оказать серьезную конкуренцию хорошо освоенным КА традиционных технологий. Это объясняется следующими технологическими пределами, которые пока не пройдены:

- органические недостатки малогабаритной оптико-электроники (прежде всего малоапертурной съемочной аппаратуры) и аппаратуры связи, особенно для устойчивых вариантов связи, не позволяют реализовать наиболее коммерчески востребованное сверхвысокое пространственное разрешение, большой охват площади съемки и объемы передаваемой информации;
- отсутствие в составе КА высокоточной системы ориентации и стабилизации пока не позволяет проводить оперативное перенацеливание аппаратуры и съемку районов «по заказу»;
- невысокие мощности бортовых систем электроснабжения, хранения и передачи информации резко ограничивают возможности по обработке, хранению и передаче на Землю больших массивов данных со съемочной аппаратуры с высоким разрешением;
- наземная инфраструктура для приема и обработки информации с «малых» аппаратов обычно не отличается от таковой для больших. Кроме того, в ряде случаев из-за низкой мощности бортового радиопередатчика МКА наземная аппаратура должна обладать даже большей чувствительностью.

Реализация коммерческих приложений, выполняемых с использованием малых аппаратов, будет возможна только после преодоления вышеназванных ограничений. Сейчас это делают специализированные МКА массой от 50 кг и выше. Приходится констатировать, что большинство разработанных и запущенных микро-, нано- и пикоспутников пока не годится для решения ряда прикладных задач в силу недостатка их возможностей. Однако перемены здесь могут наступить уже в ближайшее время после внедрения новейших технологий.

В то же время постепенное и неуклонное снижение средней массы реально эксплуатирующихся низкоорбитальных КА – вовсе не маркетинговый ход, а реальность. Это связано с целым рядом факторов [6].

Во-первых, спутники ДЗЗ, как правило, в каждый момент времени решают одну задачу – получают изображение участка поверхности Земли, – и конкретный КА обычно «заточен» либо на высокдетальную, либо на обзорную съемку. Во-вторых, в условиях неуклонной микроминиатюризации радиоэлектронной элементной базы уменьшение массы и стоимости аппаратов ДЗЗ – тенденция объективная и естественная. Она остановится, когда габариты «упрутятся» в физические ограничения по характеристикам оптики.

С другой стороны, современные и перспективные спутники связи, в свою очередь, являются огромными комплексами приемо-передающей аппаратуры, мощность которой день ото дня растет, особенно в наше время, когда актуальными стали мобильный Интернет, потоковое видео, телевидение высокой четкости и прямое вещание (DirectTV). Для всего этого «великолепия» требуется частотный бортовой антенн различного типа, вида и конфигурации, а также солнечные батареи площадью «с футбольное поле». Даже прогресс в современной микроэлектронике напрямую к уменьшению массы и габаритов КА связи не приводит. Вместе с тем появляется ряд приложений, в которых важнейшей характеристикой является передача цифровых или голосовых сообщений с высокой оперативностью и скрытностью.

Перспективные технологии, направленные на повышение функциональных характеристик и надежности:

1. облегченные несущие конструкции;

2. адаптация коммерчески доступных устройств и технологий к условиям космического полета;
3. цифровая фото- и видеотехника, миниатюрные оптические датчики для наблюдения за космосом и из космоса;
4. бортовая робототехника, микродвигатели, микро- и наноэлектронно-механические устройства (MEMS – Micro-Electro-Mechanical systems);
5. миниатюрные системы энергоснабжения и аккумуляторные батареи, высокоэффективные панели солнечных батарей;
6. перспективные миниатюрные радиотехнические устройства, микроволновые приборы для межспутниковой связи и активные радиочастотные датчики,
7. микротехнологии для навигации, включая использование звездного неба;
8. восстановление работоспособности и спасение важных ПН;
9. удаление «космического мусора» с орбит;
10. динамические операции в ближней зоне причаливания и стыковки;
11. технологии автономного функционирования КА.

К последним относится в том числе организация полета КА на низкой околоземной орбите (НОО) «формацией», или «роем». Формация КА – тип миссии, в которой несколько аппаратов летят на небольшом расстоянии (до нескольких сотен метров) друг от друга. В отличие от традиционной орбитальной группировки спутников, где аппараты действуют самостоятельно, выполняя общую задачу, в формации КА действуют сообща, распределяя отдельные функции и элементы задачи между отдельными аппаратами. По сути, речь идет о создании распределенных спутниковых систем. В этом случае ограничения на состав полезной нагрузки значительно ослабляется. Например, передача целевой и/или телеметрической информации на Землю может осуществляться через специальный спутник, оборудованный телеметрической системой с большой пропускной способностью для передачи данных, собранных другими аппаратами. В распределенных системах, в отличие от «роя», КА могут быть разнесены и на большое расстояние [7].

Как следует из вышеизложенного, ведущиеся работы в области пико- и наноспутников охватывают широкий спектр самых передовых технологий, что позволит уже в ближайшем будущем создать полноценные, ориентированные на полноценное практическое использование КА. В любом случае, миниатюризация электронных компонент и иных составных частей и комплектующих изделий МКА, совершенствование их функциональных характеристик должны и неминуемо приведут к созданию технических возможностей, которыми несколько ранее обладали только «большие» КА. Такой рывок в технических возможностях может значительно изменить подходы к прикладному использованию космических средств, в частности в боевых действиях, мониторинге чрезвычайных ситуаций, связи с отдаленными стационарными и подвижными объектами и т. д.

Возможности вывода КА CubeSat в космическое пространство

Многие годы разработчики МКА ориентировались на возможности только попутного вывода при коммерческих пусках российских, индийских и американских РН. Начиная с 2003 г. КА CubeSat запускались группами и в качестве попутного груза с РН «Рокот» и «Днепр», Falcon-1 и -9, Minotaur и Taurus, Delta II, Space Shuttle, PSLV, Vega и, наконец, непосредственно с борта МКС. Всего данным способом было запущено 72 различных МКА. Это позволило провести проверку функционирования в условиях космического пространства пико-, нано- и микроспутников различного назначения, в том числе экспериментальных, научных, технологических, связных, ДЗЗ и пр. В начале 2000-х годов основные МКА, разрабатывавшиеся с учетом возможности попутного вывода на традиционных одноразовых РН, относились к классу CubeSat 1U (т. е. до 1,3 кг) или имели массу в диапазоне 150...180 кг [2]. Однако с начала 2010-х годов быстро увеличивается количество КА с массами в диапазоне 20...40 кг и «пакетов» CubeSat в конфигурациях 3U, 6U и реже 12U. Возникла осязательная необходимость в сравнительно дешевых средствах для целевого запуска КА массой от нескольких килограмм до нескольких десятков и сотен килограмм.

Последние годы надежды разработчиков МКА связывались, прежде всего, с компанией SpaceX, которая разрабатывала РН ЛК Falcon-1, ориентированной на рынок МКА, и предлагала ее по фантастически низкой цене в 6,7 млн долл. за целевой пуск. Однако после трех аварий и двух успешных пусков, последний из которых состоялся 14.07.2009, компания SpaceX прекратила пуски РН ЛК Falcon-1. Усовершенствованная версия РН Falcon-1 так и осталась идеей. Теперь на повестке дня компании SpaceX стоят запуски лишь тяжелых РН Falcon-9 и Falcon-Heavy. Коммерческая РН ЛК для запуска МКА ушла с рынка, по сути, так и не родившись.

Однако растущий рынок МКА стал сдерживаться отсутствием адекватных возможностей выведения. Кроме того, бурный рост числа разрабатываемых МКА в целом видоизменяет традиционные требования к средствам выведения. Существующие возможности попутного или группового выведения МКА при этом оказываются явно недостаточными [8].

Попутное выведение МКА

Запуск в качестве попутной нагрузки (т. е. в результате подсадки к основному КА) может быть реализован в том случае, когда основной ПГ не использует полностью возможности ракеты-носителя. В отсеке полезной нагрузки носителя, на последней ступени или разгонном блоке предусматривается специальное пространство для размещения попутной нагрузки. Размеры выделяемого объема и условия размещения дополнительного ПГ указываются в проспектах на предоставление пусковых услуг. Поскольку запуск оплачен основным заказчиком, цена запуска попутной нагрузки может быть более приемлемой для владельца МКА.

Однако в этом варианте основной проблемой является подчинение «попутной» нагрузки требованиям по запуску основного КА (по дате пуска, характеристикам орбиты, месту запуска, схеме выведения, страхованию, высокой стоимостью и т. д.). При этом МКА должны запускаться в «спящем» режиме, т. е. их включение происходит только после отделения основного КА и последующего отделения МКА от носителя. Понятно, что ни о какой оперативности запуска в этих случаях можно не говорить. Поэтому возможности выведения на орбиту с приемлемыми параметрами владельцы малых КА могут ожидать многие месяцы и даже годы. При этом в итоге стоимость запуска таких КА «малой» не назовёшь [9].

Адаптеры-диспенсеры для пико- и нано-КА

С целью смягчения ограничений для владельцев МКА в космической промышленности были инициированы работы по нескольким направлениям, среди которых:

1. создание специальных многоместных адаптеров-диспенсеров;
2. предоставление устойчивых стандартных условий для попутного выведения МКА на эксплуатируемых РН, что позволило бы перейти к надежному планированию запусков.

Изначально для облегчения процесса интеграции CubeSat с РН были разработаны специальные многоместные диспенсеры. Они представляют собой контейнеры для «паketирования» МКА. Первыми были разработаны:

- P-POD (Poly-Picosatellite Orbital Deployer, рис. 1), вмещает три CubeSat, установленных один на другой (3U);
- T-POD (Tokyo Pico-satellite Orbital Deployer).



Рис. 1. P-POD для МКА CubeSat формата 3U (слева) и «контейнер для контейнеров» NPSCul (справа) с одновременно установленными восемью P-POD

Впервые многоместный диспенсер модели P-POD Mk I для выведения шести КА класса CubeSat был использован в 2003 г. при пуске РН «Рокот». Затем последовали пуски РН «Днепр» в 2006 и 2007 гг., в ходе которых в космос были выведены 14 и 7 КА типа CubeSat с использованием пяти и трех диспенсеров P-POD Mk II соответственно. В последующие годы КА CubeSat выводились также на РН Minotaur I, Falcon-1, M-V, PLSV, Delta II и, наконец, в 2012 г. – РН Vega и Atlas V. Таким образом, была доказана требуемая на практике универсальность применения диспенсеров типа P-POD.

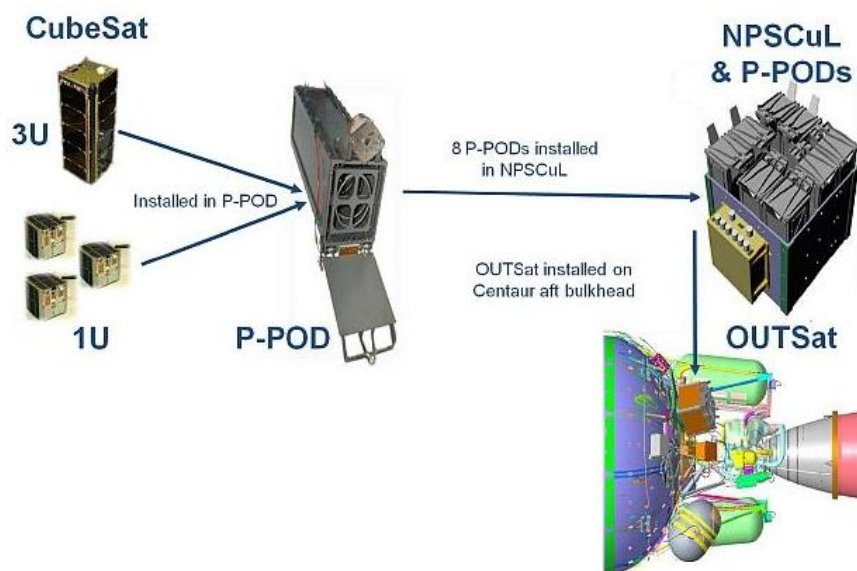


Рис. 2. Схема применения контейнеров P-POD и контейнера NPSCuL

По заказу директората обеспечения полетов разведывательного управления NRO (NRO Mission Support Directorate – MSD) курсанты Морской школы послевузовского образования ВМФ США (Naval Postgraduate School – NPSCuL) разработали «контейнер для контейнеров» – диспенсер NPSCuL (см. рис. 1), вмещающий до восьми диспенсеров P-POD, каждый из которых может принять до трех CubeSat в конфигурации 1U или 24 отдельных МКА.

Первое использование этого устройства произошло 13 сентября 2012 г. на РН Atlas V (см. рис. 2), когда диспенсер NPSCuL был установлен на нижнем днище РБ Centaur и успешно «вытолкнул» 11 CubeSat, в свою очередь установленных в контейнеры P-PODS.

Запуск 7 из этих 11 КА CubeSat был профинансирован директором MSD NRO и 4-х – НАСА по программе Launch Services Program (LSP) [10].

Японское космическое агентство JAXA разработало собственный диспенсер J-POD (JAXA-Picosatellite Orbital Deployer) для запуска МКА с использованием японских РН. Диспенсер вмещает до четырех CubeSat. После получения сигнала на отделение МКА дверцы диспенсера открываются по команде ПБУ и выталкивают по очереди МКА.

Первое использование J-POD произошло 20 мая 2010 г. при запуске КА венерианской станции Planet-C «Akatsuki» на РН Н-ПА. Были выведены МКА Waseda-Sat2 (~1.2 kg), KSat (~1.5 kg).

JAXA разработало не только диспенсер J-POD, но и специальное устройство Small Satellite Orbital Deployer (J-SSOD), которое предназначено для надежного, безопасного и дешевого запуска CubeSat с борта МКС при помощи манипулятора (Remote Manipulator System). Манипулятор установлен на японском лабораторном модуле JEM (Japanese Experiment Module, [11]) и позволяет извлекать пакетированные КА из шлюзового отсека и размещать их в космическом пространстве. Одновременно может быть запущено от трех (один контейнер) до шести (два контейнера) КА класса CubeSat. Из контейнера J-SSOD КА выталкиваются последовательно при помощи пружины, закрепленной на торцевой панели.

В ходе 33-й экспедиции на МКС 4 октября 2012 г. с использованием устройства J-SSOD были запущены пять экспериментальных CubeSat. По мнению разработчиков устройства, данный способ обладает целым рядом преимуществ перед традиционными способами выведения нано- и микро-КА: прежде всего, предлагаемая частота запусков (при пусках любого из герметизированных средств на МКС – ATV, HTV, COTS или что-то подобное) и низкая стоимость пуска. При этом применение «пакетирования» КА позволяет в значительной степени упростить размещение и привязку к средствам выведения.

Используя МКС как базу для хранения и запуска CubeSat, можно значительно повысить регулярность формирования и пополнения формаций или группировок спутников на низких околоземных орбитах, оперативно заменяя вышедший из строя аппарат. МКС открывает также дополнительные возможности по испытаниям в полете нового оборудования. Таким образом, использование МКС для запуска и испытаний CubeSat может одновременно понизить стоимость отработки новых КА или их формаций, повысить оперативность восполнения ОГ в случае потери части КА и дополнительно обогатить программу научных экспериментов на борту МКС.

Компания ISIS (Innovative Solutions In Space, Delft, Netherlands), основанная в 2006 г., разработала европейские варианты адаптеров/диспенсеров для МКА [12]. Серия устройств называется ISIPOD и предназначена для установки от одного до трех НКА (конфигурации, соответственно, 1U, 2U или 3U) на РН различных типов. Одновременно с диспенсером ISIS предлагает комплексную услугу по организации запуска группы МКА.

Серию многоместных адаптеров для размещения и выведения МКА класса CubeSat разработала и предлагает также известная шведская компания RUAG Space AB. Контейнеры для различных наборов CubeSat устанавливаются на стандартных адаптерах собственного производства компании. Эти адаптеры используются практически на всех типах РН, осуществляющих коммерческие пуски.

Важно отметить, что все перечисленные в обзоре адаптеры-диспенсеры рассчитаны на стандартизованную конструкцию КА, соответствуют требованиям стандарта на размещение CubeSat, отвечают требованиям по надежности и безопасности использования и не засоряют космическое пространство.

Многоместные адаптеры-диспенсеры для МКА

Рассмотренные варианты «пакетирования» МКА и НКА значительно облегчают, но не решают до конца проблему доставки КА на орбиту. Дальнейшая интеграция диспенсеров с РН производится либо непосредственно с основными адаптерами КА типа P-POD, либо также с использованием многоместных адаптеров, предназначенных для установки «классических» МКА. Поскольку применение адаптеров для попутных ПГ для пико-, нано- и микроспутников мало отличается и используются те же самые приемы и технические средства, то ниже рассматривается весь спектр многоместных адаптеров, доступных на рынке в настоящее время.

Традиционные многоместные адаптеры для установки МКА массой десятки и сотни килограмм используются уже многие годы и не являются новым способом выведения попутного груза. Правда, вплоть до последних лет их применение носило единичный, вспомогательный характер и не являлось основным бизнесом для отдельного провайдера пусковых услуг.

Пионерами в разработке адаптеров для малых КА в конце XX века стала компания Arianespace S.A., создавшая для РН Ariane 4 многоместный адаптер ASAP. В итоге 22 января 1990 г. РН Ariane 4 вывела в космическое пространство четыре микроспутника США и два микроспутника Великобритании при помощи многоместного адаптера ASAP. В апреле 1998 г. компании Arianespace, Antrix Corporation Ltd. и Департамент космоса Правительства Индии подписали соглашение о маркетинге услуг по запуску попутных ПН массой до 100 кг на европейской РН Ariane 5 и индийской РН PSLV. Для обеих РН предполагалось использовать совместимые адаптеры на базе конструкции ASAP.

В мае 2000 г. Arianespace выпустила руководство пользователя для адаптера попутной нагрузки на РН Ariane 5. В нем описаны адаптеры ASAP 5 (Ariane 5 Structure for Auxiliary Payload – адаптер РН «Ариан 5» для попутных нагрузок), которые были разработаны и использу-

ются до настоящего времени совместно с РН Ariane 5. Адаптер ASAP 5 обеспечивает размещение и выведение попутных МКА на НОО, ССО, ВКО и ГПО.

С целью создания условий для выведения микро- (массой до 120 кг) и мини- попутных нагрузок (массой от 120 до 300 кг) Arianespace разработала три конфигурации адаптера:

1. адаптер для восьми микро-ПН максимальной массой до 120 кг каждый;
2. адаптер для четырех мини-ПН максимальной массой до 300 кг каждый;
3. адаптер для выведения смешанных типов ПГ: до двух мини-ПН и шести микро-ПН.

Следуя подписанному соглашению о маркетинге российской РН «Союз», компания Arianespace в апреле 2009 г. заказала Astrium разработку и поставку адаптера для выведения шести КА с использованием РБ «Фрегат». Такой адаптер, получивший обозначение ASAP-S, был своевременно поставлен. Конструкция адаптера, созданная на основе ASAP-S, имеет посадочные места для размещения четырех микроспутников с внешней стороны адаптера и свободный объем для пятого ПГ в центре адаптера. Кроме того, сверху адаптера может быть установлен основной КА массой до 3500 кг. Внешние места адаптера рассчитаны на МКА массой до 200 кг, а внутреннее место может вместить КА массой до 400 кг.

Аналогичная конструкция многоместного адаптера создана и для РН ЛК Vega и получила обозначение ASAP-V.

Основными производителями и поставщиками адаптеров для компании Arianespace являются RUAG Space AB (Швейцария) и Astrium CASA Espacio (Испания) [13].

В середине 90-х годов XX века ВВС США решили, что для создаваемых одноразовых РН нового поколения Evolved Expendable Launch Vehicle (EELV) должны быть обеспечены возможности попутного выведения МКА. Подразделения ВВС, причастные к программе EELV, на ранних этапах осознали, что РН будут обладать избыточной грузоподъемностью при выведении большинства КА по заказам МО США и НАСА. В 1998 г. было принято решение о начале разработки специализированного адаптера ESPA (Evolved Expendable Launch Vehicle Secondary Payload Adapter).

Компания Moog CSA Engineering получила контракт на проектирование и квалификацию адаптера ESPA [14] в рамках проекта SBIR из программы Space Test Program (SMC/Det 12). Адаптер должен был обеспечить интеграцию разрабатываемых РН с попутными полезными нагрузками при одновременном снижении вибрационного воздействия на основной КА. Адаптер ESPA выполнен в виде цилиндрического отсека (см. рис. 3), на котором предусматривается установка в радиальном направлении до шести МКА массой до 180 кг каждый. Конструкция адаптера рассчитана на осевые нагрузки от установленного сверху основного КА массой до 6800 кг. Диаметр цилиндрического отсека адаптера составляет 155 см, высота до 61 см; попутно выводимые МКА стыкуются с адаптером при помощи 24 креплений через стандартное установочное кольцо диаметром 380 мм. Под каждый МКА выделено свободное пространство размером 610×710×970 мм.

Кроме основного варианта адаптера ESPA для использования совместно с РН по программе EELV, компания Moog CSA Engineering разработала также уменьшенные варианты ESPA для использования на РН ЛК Minotaur IV Falcon 1e, Taurus и Delta-2. Эти варианты адаптера, получившие наименование «Small Launch ESPA» (SL ESPA), созданы по заказу Центра НАСА им. Эймса в рамках программы Small Business Innovative Research и специально приспособлены для установки КА класса CubeSat мини-КА массой до 100 кг.

Адаптер SL ESPA прошел летную квалификацию на РН Minotaur IV, когда 20 декабря 2010 г. в космос были одновременно выведены десять МКА, в том числе шесть CubeSat.



Рис. 3. Адаптер ESPA для ракетносителей EELV

Первое практическое использование ESPA состоялось в 2007 г. при выведении КА STP-1 на RH Atlas V, после чего до конца 2012 г. он летал еще несколько раз. 13 февраля 2008 г. министр BBC издал директиву об организации попутного выведения КА в рамках программы EELV так часто, как это возможно.

Следуя этой директиве, компания Moog CSA Engineering начала разработку ряда вариантов ESPA для конкретных сценариев использования и так же, как и Spaceflight Inc., создает на базе адаптера МОБ с однокомпонентной ДУ.

Работы по созданию межорбитального буксира OMS на базе адаптера ведутся компанией Moog CSA Engineering при совместном финансировании BBC США и Управления по оперативному реагированию в космосе ORS. МОБ может найти самое широкое применение как средство довыведения и разведения МКА, межорбитальной транспортировки, а также в качестве отсека служебных систем, маневрирующих МКА. Весьма интересно выполнена компоновка МОБ [15] без изменения интерфейсов с РН, что позволяет использовать тот же процесс интеграции модуля полезной нагрузки, что и при стандартном адаптере.

Таким образом, начинаясь как разработка достаточно простого устройства для интеграции попутных полезных грузов, работы по совершенствованию адаптера ESPA привели к созданию серии многофункциональных устройств широкого применения. С использованием ESPA создаются также межорбитальные буксиры нескольких модификаций, при помощи которых заказчики получили возможность выводить и обслуживать КА в широком диапазоне околоземных орбит – от низких опорных орбит до геостационарной орбиты.

Компания SpaceX также продолжает рассматривать и реализовывать проекты попутного выведения различных МКА как стандартную часть пусковой услуги. В частности, SpaceX сначала подписала меморандум, а позже заключила и пусковой контракт с компанией Spaceflight Inc. на использование имеющихся запасов грузоподъемности РН Falcon 9, по крайней мере при запусках по заказам НАСА и МО США. Перед выходом на пусковое соглашение с Spaceflight Inc. компания SpaceX провела собственное исследование с целью оценки рынка КА для попутного выведения и уточнения цены спроса. В результате специалисты компании определились с ценой предложения: выведение CubeSat с использованием контейнера P-POD будет стоить на НОО от 200 000 до 325 000 тыс. долл. и от 350 000 до 575 000 тыс. долл. на ГПО. Запуск КА массой до 180 кг, установленного на адаптере типа ESPA, обойдется в 4–5 млн долл. на НОО и 7–9 млн долл. на ГПО [9].

Таким образом, можно отметить, что в результате интенсивных и достаточно масштабных работ в области пико- и наноспутников, проводимых расширяющимся фронтом с конца 90-х годов XX века:

1. Разработаны и прошли проверку в реальных условиях космического полета целый ряд конструктивно-технологических решений в области пико- и наноспутников. Получили серьезное развитие соответствующие технологии, которые стали оказывать заметное влияние на развитие бортовой аппаратуры классических КА, стимулируя снижение их массогабаритных характеристик и расширение функциональных возможностей.
2. Создан хорошо продуманный стандарт, включая прошедшие летную квалификацию интерфейсы, как для разработчиков МКА, так для провайдеров пусковых услуг, что значительно упростило, ускорило и удешевило процесс разработки МКА.
3. Возникло и сформировалось международное сообщество разработчиков и пользователей CubeSat, включающее представителей научных кругов, промышленности и государственных ведомств, которое активно работает и имеет все необходимое для создания новых моделей нано-КА и развития данного направления.
4. Правительственные ведомства различных стран (прежде всего, министерства обороны, космические агентства, научные фонды) осознали большие возможности, которые создают и развивают МКА, и стали оказывать реальное и всестороннее содействие данным работам. Созданы специализированные организационные структуры, начаты скоординированные государственные программы развития НКА, получившие серьезное финансирование и необходимую поддержку.

Исходя из объявленных планов, можно сделать вывод о появлении в ближайшем будущем космических систем оперативного развертывания и восполнения, основу которых будут составлять наносредства и которые позволят создать относительно дешевые и простые средства выведения КА с малыми массогабаритными параметрами.

Все вышеизложенное свидетельствует о возникновении и становлении нового, хорошо структурированного сегмента мирового космического рынка по созданию, запускам и применению КА класса CubeSat.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. CubeSat / Documents – URL: http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev13_final.pdf (дата обращения: 12.05.2014 г.).
2. D. DePasquale, A.C. Charania, Seiji Matsuda. Analysis of the Earth-to-Orbit Launch Market for Nano and Microsatellites // AIAA Space 2010 Conference and Exposition: тезисы доклада, 30 августа – 2 сентября 2010. – Anaheim, CA, 2010.
3. Cooperation between China and EU in the QB50 Project / Xiao-Zhou Yu. – Shaanxi Engineering Laboratory for Microsatellites Northwestern Polytechnical University, 2012.
4. Multi-point Scientific Measurements with an International Network of Cubesats / L. Muylaert, A. Bonnema. – ISIS, von Karman Institute, 2012.
5. U.S. ARMY / SMDC – URL: <http://www.smdc.army.mil/FactSheets/SWORDS.pdf> (дата обращения: 12.05.2014 г.).
6. Космос-Журнал / Статьи. – URL: <http://www.cosmos-journal.ru/articles/686> (дата обращения: 12.05.2014 г.).
7. New opportunities for Smallsat launches / J. Foust // The Space Review. – 22 Aug. 2011.
8. U.S. Commercial Space Transportation Developments and Concepts: Vehicles, Technologies, and Spaceports // Federal Aviation Administration, Office of Commercial Space Transportation, Jan. 2011.
9. J. Heyman. FOCUS: CubeSats – A Costing + Pricing Challenge // SatMagazine. – Oct. 2009. – P. 42–49.
10. Garvey Spacecraft Corporation Announces Award of NASA LSP Contract to Provide High Altitude Launch Service for Demonstration NanoSatellites / Long Beach, CA. Garvey Spacecraft Corporation PR, 2011.
11. K. Suzuki, Y. Matsumura, S. Doi. Introduction of the Small Satellite Deployment Opportunity from JEM // Тезисы доклада на III симпозиуме по наноспутникам, 12–14 декабря 2011 г. – Китакиушу, 2011.
12. C. Charania, Mr. Dominic De Pasquale, Mr. Seiji Matsuda. Small Satellite Missions Symposium (B4) Overview Of Earth-To-Orbit Nano-Satellite Launch Markets And The Nano-Launcher Service // Small Satellite Missions Symposium: тезисы доклада на 61-м Международном астрономическом конгрессе. 27 сентября – 1 октября 2010 г. – Прага, Paper ID 8514, 2010.
13. J.R. Maly, M.E. Evert, Vann M. Stavast и др. Adapter Ring for Small Satellites on Responsive Launch Vehicles // AIAA: тезисы доклада, 7th Responsive Space Conference, 27–30 апреля 2009 г. – Лос-Анджелес, CSA Engineering, Inc., AIAA-RS7-2009-1006.
14. J.R. Maly, J.T. Shepard. ESPA as Base Vehicle for Servicing Missions // NASA Goddard Space Flight Center: тезисы доклада International Workshop on On-Orbit Satellite Servicing, 26 марта 2010 г. – Adelphi, Maryland, 2010.
15. US Army Space and Missile Defense Command Operational Nanosatellites Effect (SMDC-ONE) // Ducommun Miltec Incorporated, 2012.

Поступила 12.05.2014 г.